

El equilibrio de la naturaleza: Lecciones desde Kaibab

RESUMEN

La historia del *Kaibab Plateau* es más que una advertencia: es un laboratorio vivo de aprendizaje. A principios del siglo XX, una intervención humana bien intencionada interrumpió el delicado equilibrio entre los venados y sus depredadores naturales en este ecosistema del norte de Arizona. El resultado fue un crecimiento explosivo y un colapso drástico de la población de venados, revelando el poder oculto de los ciclos de retroalimentación en sistemas complejos. Este artículo toma el caso de Kaibab para mostrar cómo el pensamiento sistémico y la modelación por simulación nos permiten anticipar consecuencias no deseadas, tomar mejores decisiones y diseñar soluciones sostenibles. No se trata solo de lo que ocurrió, sino de lo que podemos aprender para no repetirlo.

 Oasis Incubadora de Negocios en Línea.	Autores: Pedro Dagoberto Almaguer Prado pedro@oasis-io.com +52(81)17588310 Ramiro Luis Almaguer Navarro ramiro@oasis-io.com +52(81)43966945 https://oasis-io.com
--	--

Junio 12, 2025

Palabras clave

Meseta de Kaibab; dinámica depredador-presa; colapso ecológico; pensamiento sistémico; simulación; educación ambiental.

(Adapted from Bossel et. al., 2007)

Tabla de contenidos:

 Introducción	3
 Contexto y Tarea de Simulación	3
Fundamentos del colapso ecológico: Alimento, venados y ciclos de balanceo.....	4
Tabla del modelo	5
 Función No Lineal 1: Crecimiento de Venados en Relación con la Ingesta Diaria de Alimento	7
 Función No Lineal 2: Tasa de Depredación según la Densidad de Venados	7
 Función No Lineal 3: Tiempo de Regeneración del Alimento	8
 Función No Lineal 4: Evolución Temporal de la Población de Depredadores.....	8
Resultados gráficos – Impacto simulado de la eliminación de depredadores sobre los venados y el suministro de alimento	9
Registro y Configuración del Modelo	10
 Metadata en Español.....	11
 Conclusión	12
Referencias	12

Tabla de figuras:

Figure 1 Estructura central de la simulación Kaibab: población de venados, suministro de alimento y depredadores conectados por ciclos de retroalimentación de balanceo que ilustran los efectos del desequilibrio ecológico.....	5
Figure 2: The functions for the (net) growth rate of the deer population	7
Figure 3: Table function for predation rate	7
Figure 4º. The table function for regeneration time of the food supply	8
Figure 5: the PREDATOR time function	8
Figure 6: Configuración del modelo: Parámetros temporales y de simulación (duración, pasos de tiempo y ajustes de interactividad) que controlan la ejecución.....	10
Figure 7: Registro del modelo: Metadatos clave (título, autor, fecha y palabras clave) para clasificar y buscar el modelo.	10

Introducción

¿Qué ocurre cuando eliminamos a los depredadores de un ecosistema aparentemente frágil? La *Meseta de Kaibab* responde a esta pregunta con una historia impactante. A inicios del siglo XX, los humanos decidieron proteger a los venados eliminando a sus enemigos naturales: lobos, coyotes y pumas. Al principio, parecía una decisión acertada. La población de venados creció de 4,000 a más de 90,000. Pero la tierra no pudo soportarlo. El sobrepastoreo destruyó la vegetación y los venados comenzaron a morir de hambre. Eventualmente, la población colapsó. Este evento, aunque trágico, representa una oportunidad para aprender. A través de la modelación dinámica, podemos comprender cómo decisiones bien intencionadas pueden causar fallas sistémicas. Es un llamado a pensar en términos sistémicos, anticipar efectos en cadena y pasar de la intuición a la visión sistémica.

Contexto y Tarea de Simulación

Este modelo explora uno de los casos más emblemáticos de colapso ecológico causado por la intervención humana: la explosión y posterior colapso de la población de venados en la Meseta de Kaibab, en el norte de Arizona, a principios del siglo XX. Documentado por Kormondy (1976) y modelado por Goodman (1974), este evento es una lección poderosa sobre las consecuencias de alterar la dinámica depredador-presa.

La Meseta de Kaibab abarca aproximadamente **727,000 acres** al norte del Gran Cañón. En **1907**, se ofreció una recompensa por eliminar a los depredadores naturales —pumas, lobos y coyotes— y se exterminaron más de **8,000** en dos décadas. La población de venados, que era de aproximadamente **4,000**, se disparó a más de **100,000 para 1924**. Este crecimiento descontrolado llevó a una sobreexplotación de la vegetación, agotando las reservas alimenticias y provocando la muerte del **60% del rebaño** en dos inviernos consecutivos.

El modelo se basa en los siguientes supuestos clave:

- **Área total:** 800,000 acres
- **Población inicial de venados:** 4,000
- **Requerimiento de alimento por venado:** 2,000 kcal/año
- **Capacidad máxima de alimento:** 480 millones de kcal
- **Ciclo de alimentación:** 1 año

Este modelo reproduce con fidelidad los ciclos de auge y colapso, y está diseñado como un **laboratorio de aprendizaje** para entender las consecuencias no intencionadas en sistemas complejos. Su objetivo es fomentar el **pensamiento sistémico** y la **educación ambiental** mediante el aprendizaje vivencial.

Fundamentos del colapso ecológico: Alimento, venados y ciclos de balanceo

Esta sección documenta la estructura principal del modelo, compuesta por dos **stocks clave**: la **población de venados** y la **disponibilidad de alimento (forraje)**. Inicialmente en equilibrio, este sistema fue alterado radicalmente por la **eliminación masiva de depredadores naturales**, lo que disparó un **crecimiento exponencial de los venados**.

Este crecimiento desmedido provocó una presión creciente sobre el alimento disponible, activando dos **ciclos de balanceo**:

1. **Ciclo B4: Consumo de alimento** – A mayor población de venados, mayor consumo de forraje, lo que reduce la disponibilidad del recurso.
2. **Ciclo B1, B2: Muerte por hambre** – Cuando el alimento se vuelve escaso, aumenta la tasa de mortalidad de los venados, frenando el crecimiento poblacional.

Estos mecanismos revelan cómo los ecosistemas responden con retroalimentaciones negativas cuando se rompen los equilibrios naturales. El modelo permite visualizar y cuantificar este proceso en el tiempo.

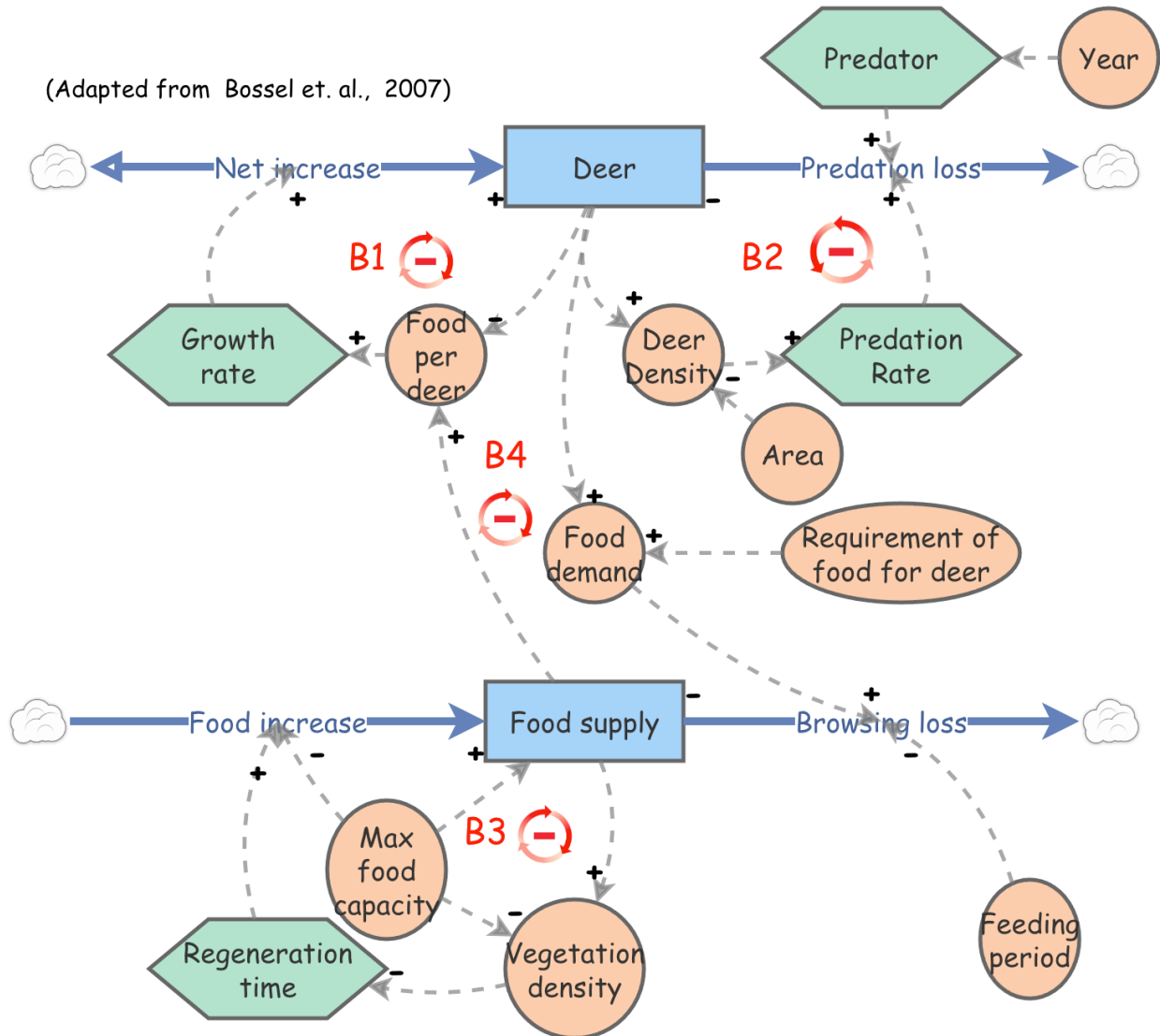


Figure 1 Estructura central de la simulación Kaibab: población de venados, suministro de alimento y depredadores conectados por ciclos de retroalimentación de balanceo que ilustran los efectos del desequilibrio ecológico.

Tabla del modelo

No	Tipo	Nombre	Fórmula / Valor	Unidades
1	Stock	Deer	Initial value: 4000	Deer
2	Stock	Food supply	Initial value: [Max food capacity]	Food
3	Flow	Net increase	$[Deer] * [Growth\ rate]$	Deer/ Year
4	Flow	Predation loss	$[Predator] * [Predation\ Rate]$	Deer/ Year
5	Flow	Food increase	$([Max\ food\ capacity] - [Food\ supply]) / [Regeneration\ time]$	Food/ Year
6	Flow	Browsing loss	if $([Food\ demand] \geq [Food\ supply])$ then $[Food\ supply] / [Feeding\ period]$	Food/ Year

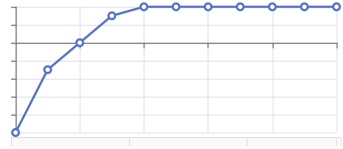
			[Food supply]/[Feeding period] else [Food demand] end if	
7	Variable	Year	Years()	Year
8	Variable	Area	800000	Acre
9	Variable	Deer Density	[Deer]/[Area]	Deer/ Acre
10	Variable	Food per deer	[Food supply]/[Deer]	Food/ Deer
11	Variable	Requirement of food for deer	2000	Food/ (Deer* Year)
12	Variable	Max food capacity	400000000	Food
13	Variable	Vegetation density	[Food supply]/[Max food capacity]	Unitless
14	Variable	Feeding period	1	Year
15	Variable	Food demand	[Deer]*[Requirement of food for deer]	Food/ Year

Función No Lineal 1: Crecimiento de Venados en Relación con la Ingesta Diaria de Alimento

Esta función determina la tasa neta de crecimiento de la población de venados en función de la disponibilidad de alimento. Con solo 500 Food/día por venado, la población disminuye un 15% anual; si alcanza 1500 Food/día, crece un 15% al año.

Name: Growth rate

Type: Converter, Interpolation: Linear, Unit: Unitless, Input source: Food per deer

Growth rate		Food per deer	Growth rate
 Figure 2: The functions for the (net) growth rate of the deer population		0	-0.5
		500	-0.15
		1000	0
		1500	0.15
		2000	0.2
		2500	0.2
		3000	0.2
		3500	0.2
		4000	0.2
		4500	0.2
		5000	0.2

Función No Lineal 2: Tasa de Depredación según la Densidad de Venados

Esta función representa la cantidad de venados cazados por cada depredador al año. A mayor densidad de venados, cada depredador puede llegar a cazar hasta 56 venados por año. Si la densidad de venados disminuye, también lo hace la tasa de caza. Esta relación no lineal refleja cómo la eficiencia de caza depende de la disponibilidad de presas.

Name: Predation Rate

Type: Converter, Interpolation: Linear, Unit: Unitless, Input source: Deer Density

Predation Rate		Deer Density	Predation Rate
 Figure 3: Table function for predation rate		0.000	0
		0.005	3
		0.010	13
		0.015	28
		0.020	51
		0.025	56
		0.030	56
		0.035	56
		0.040	56
		0.045	56
		0.050	56

Función No Lineal 3: Tiempo de Regeneración del Alimento

Esta función representa cómo el tiempo necesario para que el ecosistema regenere su capacidad alimenticia se ve afectado por el daño causado por el sobrepastoreo. Normalmente, la regeneración tarda 1 año, pero si el ecosistema ha sido severamente degradado, este tiempo puede aumentar hasta 35 años. La función captura el impacto a largo plazo de la sobreexplotación del recurso.

Name: Regeneration time

Type: Converter, Interpolation: Linear, Unit: Unitless, Input source: Vegetation density

Regeneration time Add a note... Input Source Vegetation density  Figure 4º. The table function for regeneration time of the food supply	<table> <tr> <th>Vegetation density</th><th>Regeneration time</th></tr> <tr> <td>0.00</td><td>3.5</td></tr> <tr> <td>0.25</td><td>1.5</td></tr> <tr> <td>0.50</td><td>5</td></tr> <tr> <td>0.75</td><td>1.5</td></tr> <tr> <td>1.00</td><td>1.0</td></tr> </table>	Vegetation density	Regeneration time	0.00	3.5	0.25	1.5	0.50	5	0.75	1.5	1.00	1.0
Vegetation density	Regeneration time												
0.00	3.5												
0.25	1.5												
0.50	5												
0.75	1.5												
1.00	1.0												

Función No Lineal 4: Evolución Temporal de la Población de Depredadores

Esta función describe cómo la población de depredadores (pumas, coyotes y lobos) disminuye progresivamente a lo largo del tiempo debido al programa de recompensas implementado por el ser humano. La función representa una reducción lineal de los depredadores entre 1907 y los años posteriores, lo cual afectó severamente el control natural sobre la población de venados. Esta disminución en depredadores incrementó la presión sobre el ecosistema y activó el crecimiento exponencial de la población de venados. La pérdida por depredación depende tanto de la densidad de venados como del número de depredadores en el tiempo.

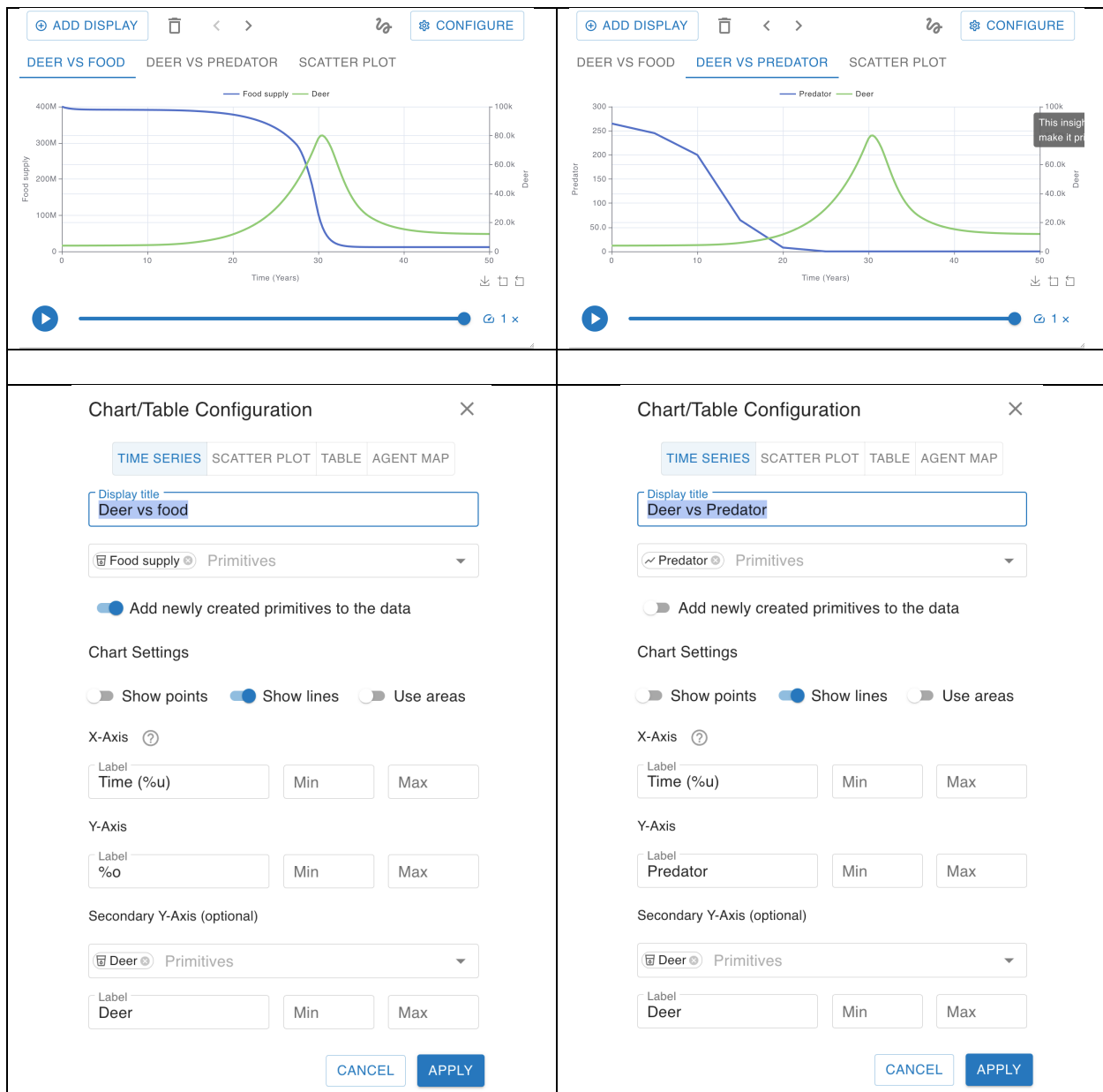
Name: Predator

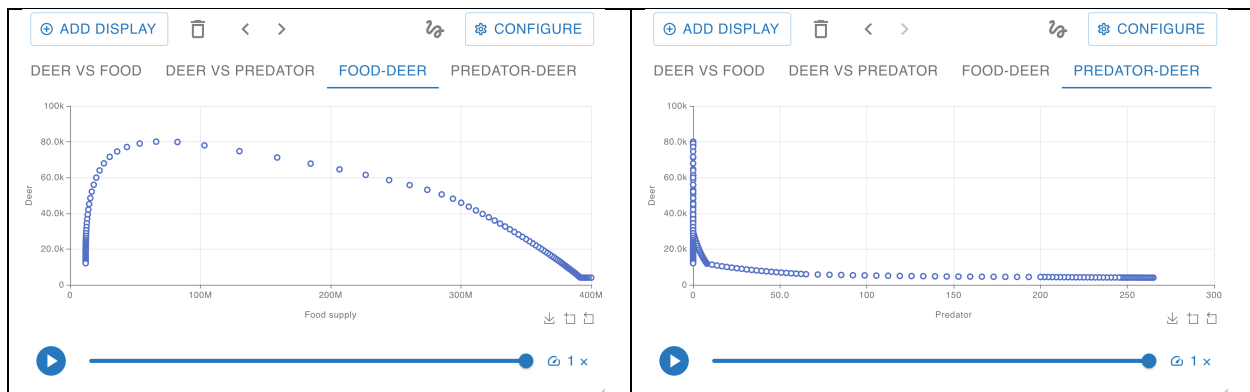
Type: Converter, Interpolation: Linear, Unit: Unitless, Input source: Year

Predator Add a note... Input Source Year  Figure 5: the PREDATOR time function	<table> <tr> <th>Year</th><th>Predator</th></tr> <tr> <td>0</td><td>2.65</td></tr> <tr> <td>5</td><td>2.45</td></tr> <tr> <td>10</td><td>2.00</td></tr> <tr> <td>15</td><td>6.5</td></tr> <tr> <td>20</td><td>8</td></tr> <tr> <td>25</td><td>0</td></tr> <tr> <td>30</td><td>0</td></tr> <tr> <td>35</td><td>0</td></tr> <tr> <td>40</td><td>0</td></tr> <tr> <td>45</td><td>0</td></tr> <tr> <td>50</td><td>0</td></tr> </table>	Year	Predator	0	2.65	5	2.45	10	2.00	15	6.5	20	8	25	0	30	0	35	0	40	0	45	0	50	0
Year	Predator																								
0	2.65																								
5	2.45																								
10	2.00																								
15	6.5																								
20	8																								
25	0																								
30	0																								
35	0																								
40	0																								
45	0																								
50	0																								

Resultados gráficos – Impacto simulado de la eliminación de depredadores sobre los venados y el suministro de alimento

Esta gráfica muestra los resultados de la simulación con la casi total eliminación de depredadores, el crecimiento exponencial de la población de venados y su posterior colapso por agotamiento del alimento. El modelo coincide con datos históricos: sin depredadores, los venados se sobrepueblan, sobrepastorean y destruyen su hábitat, lo que conduce al hambre y una disminución prolongada en su población.





Registro y Configuración del Modelo

Simulation Time Settings

Basic Simulation Settings

Simulation start

0

Simulation length

50

Time Units

Seconds

Minutes

Hours

Days

Weeks

Months

Years

Advanced Simulation Settings

Simulation time step

0.25

How long between simulation updates. Smaller values lead to more accurate but slower simulations.

Simulation algorithm

Euler's Method

Euler is faster but generally less accurate.

Simulation Interactivity

Pause interval

Optional: Pause the simulation each time interval allowing you to adjust simulation sliders interactively.

CANCEL

APPLY

Figure 6: Configuración del modelo: Parámetros temporales y de simulación (duración, pasos de tiempo y ajustes de interactividad) que controlan la ejecución..

Edit Insight Information

Insight title

Sustainability Lessons from the Kaibab Plateau

Tags (optional)

Kaibab Plateau

predator-prey dynamics

deer

Description (optional)

This model simulates the historical dynamics of deer overpopulation and ecosystem collapse in the Kaibab Plateau, Arizona (USA), during the early 20th century. It explores the consequences of predator removal and overbrowsing through feedback structures and nonlinear functions.

PUBLIC INSIGHT

PRIVATE INSIGHT

CANCEL

SAVE

Figure 7: Registro del modelo: Metadatos clave (título, autor, fecha y palabras clave) para clasificar y buscar el modelo.



Metadata en Español

Título: *Lecciones de sustentabilidad desde la Meseta Kaibab*

Descripción:

Este modelo simula la dinámica histórica del colapso poblacional de los venados y la degradación del ecosistema en la Meseta Kaibab, Arizona (EE.UU.), a principios del siglo XX. Explora las consecuencias del exterminio de depredadores y el sobrepastoreo, utilizando ciclos de retroalimentación y funciones no lineales.

Autores: Pedro Dagoberto Almaguer Prado & Ramiro Luis Almaguer Navarro

Palabras clave: Meseta Kaibab, colapso ecológico, dinámica depredador-presa, sobrepastoreo, sustentabilidad ambiental, venados, suministro de alimento, funciones no lineales, simulación, modelo histórico.

Idioma: Español

Última actualización: Junio de 2025

Versión: 1.0

Tipo de modelo: Simulación de niveles y flujos

Unidad de tiempo: Años

Período de simulación: 50 años

Propósito del modelo: Herramienta educativa y de aprendizaje para políticas

Referencias: Goodman (1974), Kormondy (1976)

Conclusión

La historia de la Meseta Kaibab no es solo una lección ecológica, sino una metáfora viva de los sistemas humanos. Cuando se eliminan los límites naturales —como ocurrió con los depredadores—, el crecimiento sin control puede parecer, al principio, un éxito. Pero la abundancia sin conciencia degrada el entorno que la sostiene.

Este modelo no solo reproduce un hecho histórico; revela cómo las decisiones desconectadas de la estructura de un sistema pueden llevar al colapso, incluso cuando las intenciones parecen nobles. En el mundo de los negocios, las políticas públicas, y las relaciones internacionales, este aprendizaje es invaluable: promover el crecimiento sin comprender las dinámicas invisibles que lo regulan puede destruir el mismo ecosistema que nos da vida.

La paz duradera, la prosperidad empresarial y el bienestar social requieren lo que este modelo nos enseña: visión sistémica, respeto por los ciclos naturales, y la sabiduría de intervenir sin romper el delicado equilibrio que sostiene a todos los actores de un sistema.

Referencias

Book: [System Zoo 2 Simulation Models Climate Ecosystems Resource. Volume 2](#), Author: [Harmut Bossel 2007](#), pp118-120, Printed and published by books on demand GmbH Norderstedt Germany, ISBN 978-3-8334-8423-0